

**PROPUESTA DE GUÍA AMBIENTAL PARA EL QUEMADO DE GAS EN
INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN
COLOMBIA**

JULIÁN ANDRÉS MONDRAGÓN GUZMÁN

C.C. N. 80.074.319

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA

INSTITUTO DE POSGRADOS

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA AMBIENTAL

BOGOTÁ, NOVIEMBRE DE 2015

**PROPUESTA DE GUÍA AMBIENTAL PARA EL QUEMADO DE GAS EN
INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN
COLOMBIA**

JULIÁN ANDRÉS MONDRAGÓN GUZMÁN

C.C. N. 80.074.319

Proyecto de grado para optar al título de ESPECIALISTA EN GERENCIA AMBIENTAL

Asesor

ING. JULIO CÉSAR RAMÍREZ

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERIA

INSTITUTO DE POSGRADOS

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA AMBIENTAL

BOGOTÁ, NOVIEMBRE DE 2015

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	7
1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
2. JUSTIFICACIÓN.....	10
3. OBJETIVOS.....	12
3.1 OBJETIVO GENERAL	12
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
4. MARCO REFERENCIAL	13
4.1 MARCO TEORICO	13
4.2 MARCO CONCEPTUAL	13
4.3 MARCO LEGAL	16
5. METODOLOGIA	17
6. DISEÑO EXPERIMENTAL	18
7. ANÁLISIS FINANCIERO.....	19

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	20
8.1 IDENTIFICACIÓN LAS TÉCNICAS ACTUALES EMPLEADAS PARA EL QUEMADO DE GASES EN INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN COLOMBIA.	20
8.2 REGULACIÓN AMBIENTAL ACTUAL PARA EL QUEMADO DE GASES EN INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN COLOMBIA.	30
8.3 ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO PARA EL QUEMADO DE GASES EN INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN COLOMBIA.....	34
9. CONCLUSIONES.....	36
10. RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFIA	41
ANEXO A - GUÍA AMBIENTAL PARA EL QUEMADO DE GAS EN INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN COLOMBIA	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz normativa	16
Tabla 2. Comparación de características entre sistemas de teas elevadas .	21
Tabla 3. Comparación de características entre sistemas de teas a nivel de suelo	23
Tabla 4. Normativa industrial aplicable a los sistemas de teas	30
Tabla 5. Normativa legal aplicable a los sistemas de teas.....	31
Tabla 6. Otras normativas y recomendaciones.....	33
Tabla 7. Matriz de calificación y comparación de los sistemas de teas	35
Tabla 8. Características de los diferentes tipos de puntas de sistemas de teas	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de tierras para áreas de exploración y explotación de hidrocarburos en Colombia	9
Figura 2. Estructura metodológica.....	17
Figura 3. Tipos de teas elevadas: autosoportada, soportada por cables y soportada por estructura	22
Figura 4. Tubo de quema de gases.....	26
Figura 5. Tubo de quema de gases.....	27
Figura 6. Sistema de tea elevada auto soportada	28
Figura 7. Sistema de tea elevada soportada por cables	29

INTRODUCCIÓN

En las instalaciones de exploración y producción de petróleo se manipulan y procesan hidrocarburos en forma continua, los cuales se separan en líquidos y vapores. Las etapas involucradas en este proceso incluyen someter las corrientes de hidrocarburos a operaciones y procesos unitarios con el fin de obtener distintos grados de separación, y de esta forma recolectar los líquidos para su venta, y los gases ya sea para su venta o para otra disposición final. A través de todo este proceso es común que se produzcan emisiones de gas, a pesar de los esfuerzos de minimizarlas y/o eliminarlas [1].

Por lo tanto esas emisiones de gases deben ser dispuestas de manera adecuada. Anteriormente estos gases eran venteados directamente a la atmosfera, sin embargo por regulaciones ambientales este método se ha descontinuado. Actualmente la disposición de gases combustibles, vapores y líquidos por quemado es generalmente realizada por medio de teas. Las teas son usadas para el control ambiental de flujos continuos de exceso de gases y de grandes cantidades de gases en una emergencia.

Actualmente el Ministerio del Medio Ambiente cuenta con una Guía Ambiental para el Desarrollo de Campos Petroleros la cual data del año 1997. La normatividad ambiental desde la fecha de su emisión ha cambiado y evolucionado. Igualmente, Colombia como país firmante del Protocolo de Kyoto se ha embarcado en diversos proyectos para la reducción de emisión de Gases de Efecto de Invernadero. Las cuales son recogidas en su mayoría en el CONPES “Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático en Colombia”.

[1] PERU. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Guía ambiental para el quemado de gas en instalaciones de exploración y producción petrolera. Lima: El Ministerio, 1993. 2 p.

1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

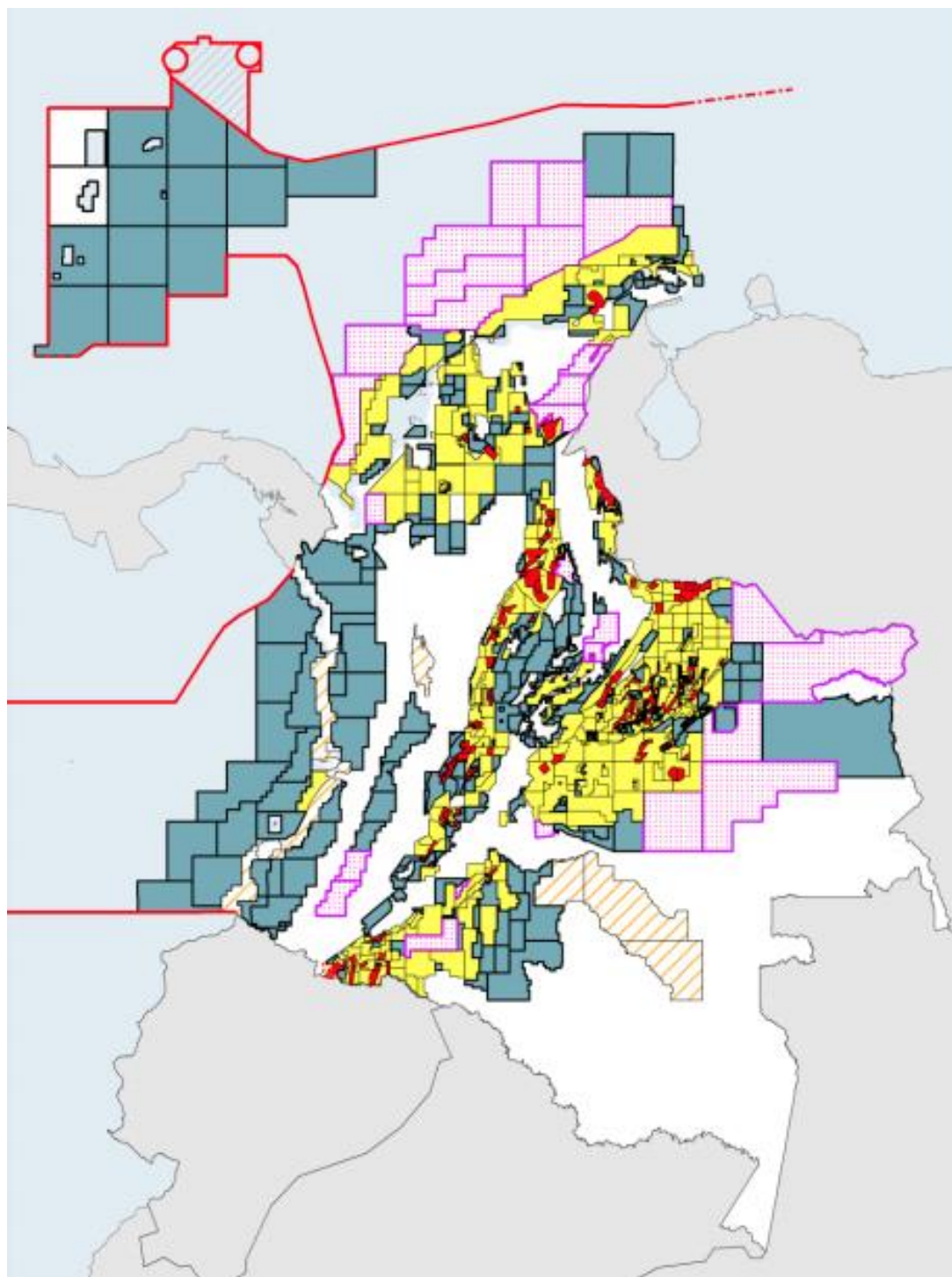
La problemática de las emisiones de gases originadas en las instalaciones de producción puede abordarse desde dos puntos de vista: la minimización de emisiones de hidrocarburos gaseosos a partir del equipo de proceso; y la destrucción de dichas emisiones mediante quemado. Determinar cuál opción es más conveniente se logra a través de un análisis técnico y económico.

De acuerdo con una encuesta realizada para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en 2008, el 67% de los encuestados perciben la contaminación como un problema ambiental y 52% consideran la contaminación del aire como el principal problema. Esta presión de la sociedad ha llevado a la adopción de una legislación ambiental más exigente, por lo cual la industria petrolera deberá tomar medidas adicionales que mitiguen los impactos ambientales en el diseño de sus instalaciones.

En la figura 1 es posible observar en color rojo las áreas donde actualmente se adelantan labores de explotación de hidrocarburos, en color amarillo las áreas donde se están realizando tareas de exploración y en color gris las áreas disponibles. De la misma es posible observar que hay un amplio margen de crecimiento de la explotación de hidrocarburos en Colombia.

Por lo tanto la pregunta que queda es: ¿Cuál sería la manera más adecuada de llevar a cabo la quema de gases en instalaciones de exploración y producción en Colombia?

Figura 1. Mapa de tierras para áreas de exploración y explotación de hidrocarburos en Colombia.



Fuente: Actualización del Mapa de Tierras, Agencia Nacional de Hidrocarburos. 2015.

2. JUSTIFICACIÓN

El petróleo y el gas se han convertido en pilares de la economía colombiana, ya que permiten asegurar el autoabastecimiento energético del país además de generar ingresos a la Nación en forma de inversión, de los impuestos que deben pagar las empresas del sector y por las exportaciones realizadas. Esta importancia se puede apreciar en el último Plan Nacional de Desarrollo donde se define este sector como una locomotora del desarrollo.

Acorde con datos del Ministerio de Minas la producción de crudo pasó de 578 miles de barriles por día (KBPD) en 2002 a 930 KBPD en 2011. El promedio real de producción en 2012 fue de 944KBPD [2]. Y para el 2013 el promedio superó la barrera de los 1000 KBPD, acorde al Ministerio. La Agencia Nacional de Hidrocarburos reporta que para el año 2014 la producción promedio diaria de crudo fue de 990KBPD, y que a corte de abril de 2015 la producción de crudo promedio año es de 1.029 KBPD [3].

Por otro lado, según cálculos del Banco Mundial, el volumen anual estimado de gas asociado a actividades del sector de hidrocarburos que está siendo quemado es cercano a 110 billones de metros cúbicos, los cuales si se combinaran serían suficientes para proveer el consumo de gas natural de Alemania y Francia [4]. Es ampliamente conocido que las emisiones de estos gases de quema y venteo contribuyen de una manera significativa a los gases de efecto invernadero.

Es decir, con el fin de cumplir las metas que plantea el gobierno nacional es de esperarse que aumente el número de facilidades de exploración y producción de hidrocarburos en Colombia, y por lo tanto también se tendría un aumento en las emisiones de gases. Si bien Colombia actualmente es un país con bajas emisiones de Gases de Efecto de Invernadero (GEI), este crecimiento acelerado que se proyecta para los próximos cuatro años puede

[2] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Producción Fiscalizada de Petróleo por Departamento. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2012. 1 p.

[3] AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Producción Mensual de Petróleo Bogotá D.C.: La Agencia, 2015. 1 p.

[4] GLOBAL GAS FLARING REDUCTION PARTNERSHIP. Monitoring & Reporting Guidelines for Flare Reduction CDM Projects. La Asociación: Washington D.C., 2010. 9 p.

llevar a un aumento de las emisiones de GEI, a menos de que se tomen medidas con el fin de no poner en riesgo la competitividad de los sectores colombianos ante una economía global influenciada por estándares de carbono-intensidad.

Igualmente es necesario considerar que la Constitución Política de 1991 establece una serie de derechos y obligaciones relacionados con el medio ambiente. Los artículos 79 y 80 disponen que “todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo” y “Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”. Igualmente con base a la Constitución, se expidió la Ley 99 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), estableciendo como responsabilidad de las autoridades ambientales ejercer la evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables. Considerando que lo anterior incluye el vertimiento, emisión o incorporación de residuos líquidos, a los cuerpos de agua, al aire o a los suelos que puedan causarles daño.

Tomando en cuenta lo anterior es necesario revisar las diferentes prácticas y alternativas con las que se cuenta actualmente para la quema adecuada de los gases provenientes de las instalaciones de exploración petrolera, y contar con una guía que sirva de referencia a las empresas del sector para la toma de decisiones al momento de disponer de estas emisiones.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Construir una guía ambiental para el quemado de gas en instalaciones de exploración y producción petrolera en Colombia

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar las técnicas actuales empleadas para el quemado de gases en instalaciones de exploración y producción petrolera en Colombia.

Establecer la regulación ambiental actual para el quemado de gases en instalaciones de exploración y producción petrolera en Colombia.

Proponer alternativas de mejoramiento para el quemado de gases en instalaciones de exploración y producción petrolera en Colombia.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, a través de la Resolución 1023 del 28 de julio de 2005, en su artículo primero resuelve “adoptar las Guías Ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación del sector regulado y de consulta y referencia de carácter conceptual y metodológico tanto para las autoridades ambientales, como para la ejecución y/o el desarrollo de los proyectos, obras o actividades contenidos en las guías que se señalan en el artículo tercero” de la Resolución [5]. Dentro de este contexto encontramos la Guía Ambiental para Desarrollo de Campos, la cual data de febrero de 1997 y por lo tanto es anterior al Protocolo de Kyoto.

4.2 MARCO CONCEPTUAL

Los siguientes conceptos son adoptados del decreto 948 de 1995 de la Presidencia de la Republica [6], del Estándar 537 del Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés) [7], y de la Asociación para la Reducción Global de Quemado de Gases (GGFR por sus siglas en inglés) del Banco Mundial [8].

[5] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1023 (28, julio, 2005). Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2005. 1 p.

[6] COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Resolución 948 (5, JUNIO, 1995). por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Bogotá D.C.: La Presidencia, 1995. 1 p.

[7] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Flare Details for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. API STANDARD 537. Washington D.C.: El Instituto, 2008. 2 p.

[8] GLOBAL GAS FLARING REDUCTION PARTNERSHIP. Monitoring & Reporting Guidelines for Flare Reduction CDM Projects. La Asociación: Washington D.C., 2010. 9 p.

Eficiencia de combustión: Porcentaje de combustible líquido que es totalmente oxidado en el quemador. En el caso de hidrocarburos, la eficiencia de combustión es el porcentaje en peso de carbono original en el líquido que se oxida completamente a CO₂.

Facilidades de producción: Instalaciones, plantas, vasijas de producción y demás equipos para las actividades de producción, separación, tratamiento, conducción y almacenamiento de hidrocarburos en el subsuelo.

Fuente de emisión: Es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

Fuente fija: Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Gas de alivio: Gas o vapor venteado o aliviado en el cabezal para conducirse a la tea. También se llama gas residual, gas de quema o vapor residual.

Gas de asistencia: Gas combustible que se adiciona al gas de alivio al quemador de la tea o al punto de combustión con el fin de incrementar el poder calorífico.

Gas asociado: Gas natural que viene de pozos de petróleo, encontrado en asociación con el crudo, bien sea disuelto en el crudo (gas disuelto) o separado del crudo (gas libre).

Gas natural: Un término genérico que denota principalmente a una corriente gaseosa de hidrocarburos producida de una formación geológica.

Intensidad de radiación: La rata de transferencia de calor local por radiación desde la llama de la tea. Usualmente se expresa en kilovatios por metro cuadrado (unidades térmicas británicas por hora por pie cuadrado).

Medidor de flujo: Instrumento para monitorear, medir o grabar la velocidad de flujo, presión o descarga de un fluido.

Metro cúbico estándar: Medición de un metro cúbico de gas bajo condiciones estándares de presión y temperatura, 101.325 kPa y 273.15 K, respectivamente.

Metro cúbico normal: Medición de un metro cúbico de gas bajo condiciones normales de presión y temperatura, las cuales se seleccionan acorde a la preferencia del usuario o a las condiciones actuales. Comúnmente se toman 101.325 kPa y 23.15 K, respectivamente.

Número de Ringelmann: Escala usada para definir los niveles de blanco, gris y negro, donde blanco es cero, negro 5 y del 1 al 4 se incrementan los niveles de gris. Se usa frecuentemente para describir la intensidad de humo.

Poder calorífico: Las calorías o unidades térmicas contenidas en una unidad de una sustancia, y liberadas cuando la sustancia es quemada bajo condiciones estándares. Para gas natural el poder calorífico superior o bruto (HHV, por sus siglas en inglés) incluye el calor de vaporización del agua producida por la combustión. El poder calorífico inferior (LLV por sus siglas en inglés) no incluye el calor de vaporización. El LHV es el más usado comúnmente.

Separador: Un recipiente de tratamiento de producción diseñado para facilitar la separación de gas, crudo y/o agua de una corriente de fluido de producción.

Tea: Termino general usado para designar a un dispositivo o sistema usado para disponer de manera segura gases de alivio de una manera ambientalmente correcta por medio del uso de combustión. También conocida como antorcha o mechurrio [En otros países de Latinoamérica].

4.3 MARCO LEGAL

Dada la temática del presente documento, amerita que el tratamiento completo del contenido legal se realice en el capítulo de resultados con el fin poder analizar su relación con la parte técnica de la propuesta.

A modo de introducción a continuación se presenta el marco legal ambiental, el cual al igual que el ordenamiento jurídico general, se deriva de la Constitución Política de 1991. A partir de esta se encuentra la gradación normativa, la cual se presenta en el siguiente cuadro, bajo las consideraciones anteriormente expuestas.

Tabla 1. Matriz normativa

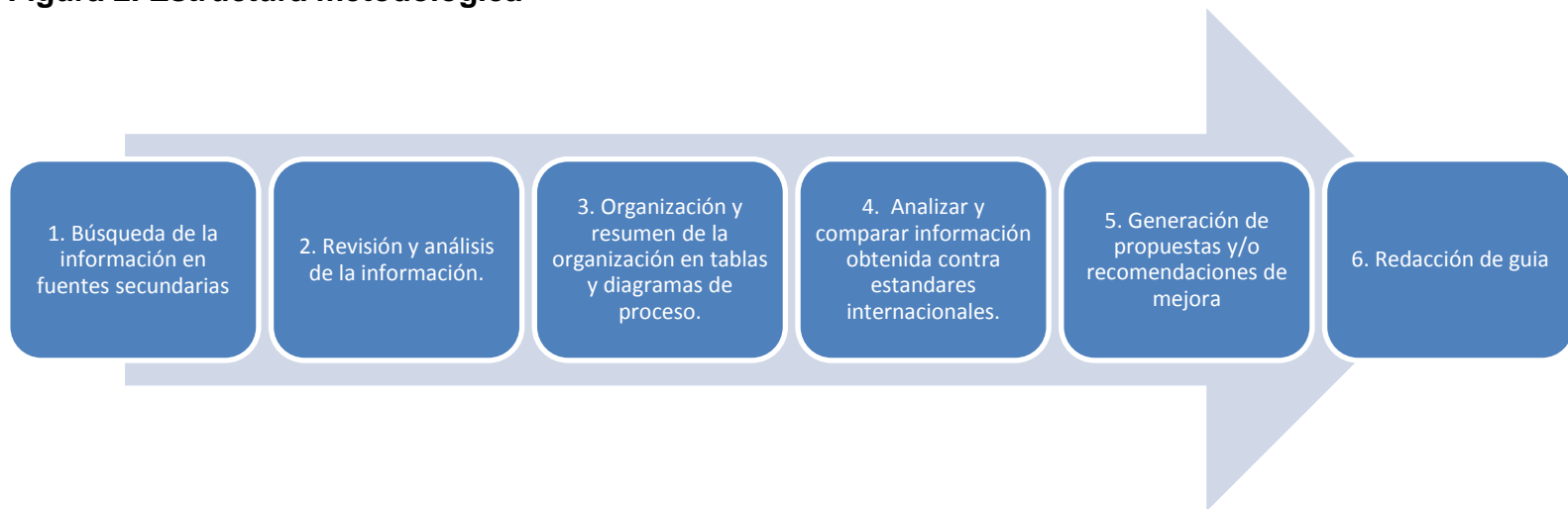
NORMA	EXPEDIDO POR	CONTENIDO	ARTÍCULOS RELACIONADOS
Constitución Política de Colombia 1991	Congreso de la Republica de Colombia		8, 13, 29, 49, 80, 333, 366
Decreto 2811 de 1974	Presidencia de la Republica	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente..	1,2,3,7,8,11,73, 74,75,76, 191
Ley 99 de 1993	Congreso de la Republica de Colombia	Organización del SINA; Política Ambiental; Licenciamiento Ambiental de proyectos.	1,49,50,57,62
Decreto 948 de 1995	Presidencia de la Republica	Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto- Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.	

Fuente: Autor del trabajo. 2015.

5. METODOLOGÍA

El presente proyecto se caracteriza por ser una investigación de tipo descriptiva. A continuación se presente el diseño metodológico planteado.

Figura 2. Estructura metodológica



Fuente: Autor del trabajo. 2015.

6. DISEÑO EXPERIMENTAL

La propuesta de guía no pretende ser una ley o reglamento, sino tendrá la finalidad de ayudar a la industria, al gobierno y al público en general a desarrollar planes ambientales que se acomoden con las regulaciones normativas existentes y/o a proponer a la mejora de estas. Por lo anterior, el presente proyecto no incluye trabajo experimental.

7. ANÁLISIS FINANCIERO

El presente proyecto no incluye implementación la implantación de actividades con ánimo de lucro, por lo cual no se cuenta con un análisis financiero del mismo.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de la información recopilada a continuación se presentan en dos bloques las técnicas identificadas en el quemado de gases y la regulación ambiental existente. Posteriormente se evaluarán y presentarán las posibles alternativas y mejoras.

8.1 IDENTIFICACIÓN LAS TÉCNICAS ACTUALES EMPLEADAS PARA EL QUEMADO DE GASES EN INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN COLOMBIA.

La quema controlada de gas de alivio es una de las prácticas más comunes en la exploración, producción y procesamiento la industria del petróleo. El venteo como alternativa a esta práctica únicamente es usado en casos de emergencia.

Los sistemas de teas se usan ampliamente para disponer gases de purga y residuales en refinerías, gas asociado no recuperable que viene con el crudo de los pozos y otras aplicaciones no relacionadas con la industria del gas y del petróleo.

8.1.1 Tipos de sistemas de teas. Hay dos tipos principales de teas: elevadas y a nivel de suelo. Las teas elevadas son el tipo más común. En este tipo de teas, el gas de alivio es alimentado a una chimenea de entre 10 y 100 m de altura y se quema en la punta de la misma. La llama queda expuesta a las perturbaciones atmosféricas tales como el viento y la lluvia. Las teas a nivel de suelo varían en complejidad y pueden consistir en quemadores convencionales descargando el flujo horizontalmente [9].

En la tabla 2 se presenta una tabla comparativa de las principales características de cada tipo de tea elevada.

[9] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Washington D.C.: La Agencia, 2009. 2 p.

Tabla 2. Comparación de características entre sistemas de teas elevadas

Característica	Tea autosoportada	Tea soportada por cables	Tea soportada por estructura
Altura	Hasta 300ft (92m)	Hasta 600 ft (183 m)	Hasta 655 ft (200 m)
Costo de capital	Medio	Bajo	Alto
Costo de instalación	Moderado	Bajo	Alto
Requerimiento de espacio	Reducido	Alto	Requerido
Requerimientos de mantenimiento	Bajo	Medio	Medio
Posibilidad de usar múltiples chimeneas	No	No	Si

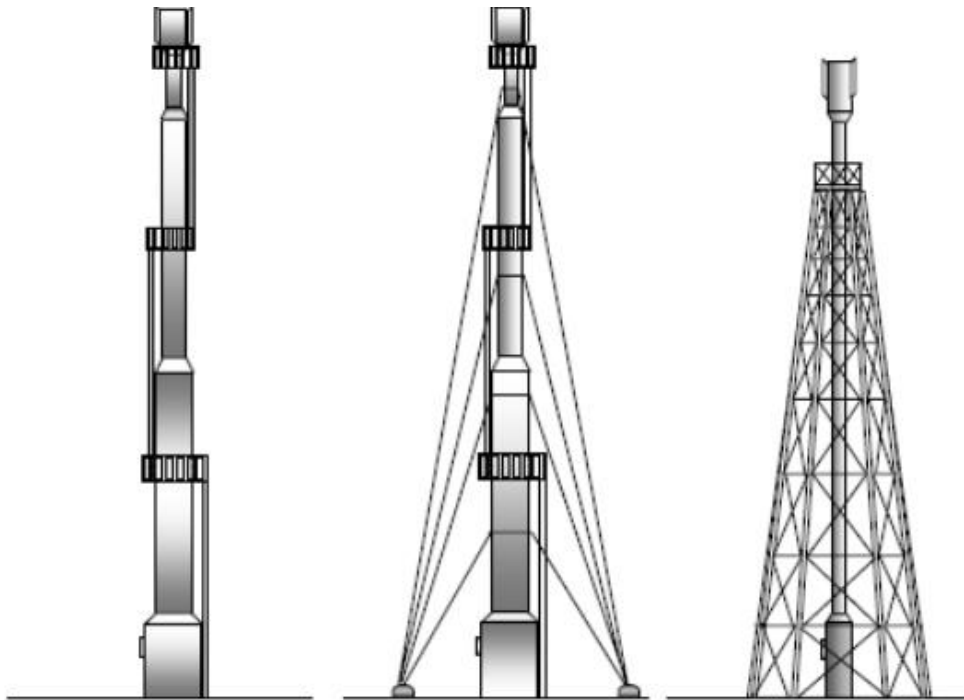
Fuente: Autor del trabajo, 2015. Adaptado de: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service. API STANDARD 537, Second Edition. Washington D.C.: El Instituto. 2008. 28-41p.

Para entender mejor la diferencia entre los tres tipos de teas se presenta la figura 3. En las teas autosoportadas todo el peso de la estructura se soporta en la base del equipo, mientras que en las soportadas por cables y por estructura, se requiere de elementos adicionales.

Por esta razón las autosoportadas son usadas principalmente en aquellos sitios donde se cuenta con poco espacio. Su principal desventaja frente a las teas soportadas por cables es el costo de la inversión inicial, por tal razón en casos donde se cuenta con área suficiente es más común tener este segundo tipo de teas.

Las teas soportadas por estructura, debido a su alto costo, son usadas en aquellos casos donde se requieren usar varias teas pero por cuestión de espacio es conveniente agruparlas, o en casos donde debido al tipo de gas a quemar o la cercanía de otros equipos se debe tener una altura elevada.

Figura 3. Tipos de teas elevadas: autosoportada, soportada por cables y soportada por estructura



Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service. API STANDARD 537, Second Edition. Washington D.C.: El Instituto. 2008. 29p.

De igual manera que para las teas elevadas, en la tabla 3 se presentan las principales características de las teas a nivel de suelo. La principal ventaja de este tipo de teas es que el nivel de luminosidad y de radiación puede ser reducido a niveles menores que en las teas elevadas, llegando incluso a poder ser cero en algunos diseños. Por contraparte, su elevado costo hace que sean empleadas principalmente en aquellas situaciones donde se requiere baja emisión de luz y calor.

Tabla 3. Comparación de características entre sistemas de teas a nivel de suelo

Característica	Tea multipunto a nivel de suelo	Tea encapsulada	Tea tipo foso
Costo de capital	Alto	Alto	Bajo
Costo de instalación	Alto	Alto	Bajo
Requerimiento de espacio	Alto	Bajo	Medio
Requerimientos de mantenimiento	Medio	Alto	Bajo
Quema de flujo bifásico	No	No	Si

Fuente: Autor del trabajo, 2015. Adaptado de: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service. API STANDARD 537, Second Edition. Washington D.C.: El Instituto. 2008. 90-102p.

8.1.2 Consideraciones para la selección y dimensionamiento de sistemas de teas. Para la selección del sistema de tea a emplear y su dimensionamiento se requieren conocer las siguientes variables:

Caudal: Si el caudal es sobreestimado, el sistema será más costoso y puede tener una vida útil más corta. En caso de ser subestimado, puede conducir a tener sistemas inseguros.

Composición del gas: Los productos de la combustión dependen de la composición del gas de entrada. Es decir, conociéndola es posible predecir las características del gas de chimenea.

Temperatura del gas: Tiene impacto directo sobre la expansión térmica, el volumen del gas y los requerimientos de materiales de la tubería y recipientes.

Presión disponible del gas. A mayor presión de gas disponible a la entrada del sistema, se tiene: menor costo de capital, ya que el tamaño de la línea de tea será menor; menor costo de utilidad, en caso de requerirse quema asistida; mejor operación de la punta, y por lo tanto mayor duración de la vida útil de la misma.

Adicionalmente es un criterio de diseño para la quema sin humo de la tea; algunos fabricantes han encontrado que se puede incrementar la quema sin humo al usar la presión disponible a la entrada.

Costo y disponibilidad de servicios industriales. Es necesario evaluar la disponibilidad y el costo de servicios como son el gas de piloto y el gas de purga. La cantidad requerida depende del tamaño del sistema de tea. La cantidad del gas de purga depende de la composición de este gas

Adicionalmente para alcanzar quema sin humo, es necesario usar un gas de asistencia para incrementar la turbulencia en el punto de quema. Para esto se puede usar aire, vapor o gas.

Requerimientos ambientales. El requerimiento ambiental básico es que exista quema sin humo. Usualmente se emplea el número de Ringelmann como escala para determinar el si el nivel de emisiones de humos está dentro de los límites permitidos.

Requisitos de seguridad industrial y salud ocupacional. El principal requerimiento de seguridad está relacionado con problemas de radiación térmica. Es necesario prever zonas de aislamiento alrededor de las teas para evitar los efectos de la radiación. Estas serán establecidas en función de la energía radiante emitida y de los receptores sensibles presentes en la zona de exposición.

Requisitos sociales. Aunque la tea cumpla con requerimientos ambientales, puede no cumplir con las expectativas de los vecinos de la planta. Pueden surgir reclamaciones por luz o ruido, debido a la presencia de comunidades, animales o cultivos en la zona

8.1.3 Principales componentes de los sistemas de teas. En general los sistemas de teas cuentan con los siguientes componentes principales. Una breve descripción de cada uno se presentan a continuación, con base a lo encontrado en API STANDARD 537 [10].

[10] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Flare Details for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. API STANDARD 537. Washington D.C.: El Instituto, 2008. 16-25 p.

Punta. Se cuenta con dos tipos de puntas: el primer tipo corresponde a la punta sin asistencia, usualmente usada donde la quema asistida sin humo no se requiere. La llama producida por este tipo de puntas es función de la composición del gas y de la velocidad de salida del gas.

En las ocasiones en que debido a la composición del gas las puntas sin asistencia no garantizan la quema sin humo se requiere del segundo tipo de puntas: las que cuentan con asistencia. En este tipo de puntas se inyecta vapor, o aire en caso de que este no se encuentre disponible, con el fin de mejorar la eficiencia de la combustión y de esta manera lograr la quema sin humo.

Pilotos. La función del piloto es dar el encendido al gas de tea con el fin de iniciar la combustión. El piloto del sistema de tea debe proporcionar una ignición confiable. Si el piloto falla, hidrocarburos sin quemar pueden ser liberados a la atmosfera, generando posibles atmosferas explosivas o problemas de afectación a la salud.

Sistema de encendido. El sistema de encendido es el encargo de garantizar que los pilotos estén encendidos. Básicamente generan la mezcla aire-gas de piloto en la proporción adecuada y generan la chispa para generar el inicio de combustión en el piloto, el cual como se describió anteriormente es el que se encarga de iniciar la ignición del gas de tea.

8.1.4 Técnicas de quemas de gases usados actualmente en Colombia.

Una vez se han planteado los tipos de sistemas de teas y sus características, a continuación se presentan algunos ejemplos de sistemas empleados en campos de exploración y producción de hidrocarburos en Colombia.

En la figura 4 se observa un tubo de quema de gases, el cual no cuenta con ningún tipo de control para su encendido ni con un tipo de punta que garantice la adecuada quema del gas de tea. Esto además de generar inseguridad al personal del campo, no garantiza la completa quema del gas.

Figura 4. Tubo de quema de gases



Fuente. Archivo particular. 2011-2013

En la figura 5 se observa otro tubo de quema de gases, el cual si bien tiene una mayor altura y un área acordonada, sigue sin contar con algún tipo de control para su encendido o con un tipo de punta que garantice la adecuada quema del gas de tea.

Figura 5. Tubo de quema de gases



Fuente. Archivo particular. 2011-2013

En la siguiente figura ya se observa un sistema de tea del tipo autosoportada, el cual cuenta con las siguientes características: una adecuada estructura base; un sistema de encendido y pilotos. Además es posible deducir que cuenta con un buen diseño, ya que la base de la llama se encuentra separada de la punta de la tea (es decir cuenta con una adecuada velocidad de salida del gas para la combustión).

Figura 6. Sistema de tea elevada auto soportada



Fuente. Archivo particular. 2011-2013

En la figura 7 se observa un sistema de tea del tipo autosoportada con características similares a la de la anterior, con la diferencia que en este caso se trata de una tea soportada por cables.

Figura 7. Sistema de tea elevada soportada por cables



Fuente. Archivo particular. 2011-2013

8.2 REGULACIÓN AMBIENTAL ACTUAL PARA EL QUEMADO DE GASES EN INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN COLOMBIA.

8.2.1 Normativa Industrial

A continuación se presentan el resumen de las normas del sector industrial de hidrocarburos aplicables a los sistemas de teas.

Se tratan básicamente de normas extranjeras del sector de hidrocarburos. En el caso de API STD 537 se elabora con base al consenso de los principales fabricantes de sistemas de teas, por lo cual incluye las características mínimas con las que deben contar este tipo de equipos.

Tabla 4. Normativa industrial aplicable a los sistemas de teas

NORMA	EXPEDIDO POR	CONTENIDO
API RP 520	American Petroleum Institute	Dimensionamiento, selección e instalación de dispositivos de alivio de presión en refinerías.
API STD 521	American Petroleum Institute	Sistemas de alivio y despresurización
API STD 537	American Petroleum Institute	Detalles de teas en general para refinerías y servicios petroquímicos.
ASME Boiler and Pressure Vessel Code	American Society of Mechanical Engineers	Especificación de materiales, reglas para la construcción de recipientes a presión y calificación de soldaduras.

Fuente: Autor del trabajo. 2015.

8.2.2 Normativa legal

Si bien es importante tener en cuenta que dentro del ordenamiento normativo, la Constitución Política y la Ley 99 de 1993 establecen las bases para la legislación ambiental, tal como se estableció en el marco legal, en el desarrollo del presente trabajo solo se hablara de la normatividad específica a emisiones atmosféricas de fuentes fijas.

Lo anterior considerando en que en la normatividad encontrada no se hace referencia de manera directa a los sistemas de teas anteriormente descritos. En la tabla 5 se presenta el resumen de lo encontrado.

Tabla 5. Normativa legal aplicable a los sistemas de teas

NORMA	EXPEDIDO POR	CONTENIDO
Decreto 948 de 1995	Presidencia de la Republica	Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
Decreto 979 de Abril de 2006	Presidencia de la Republica de Colombia	Por el cual se modifican los artículos 7°, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995.
Resolución 619 de julio de 1997	Ministerio del Medio Ambiente	Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
Resolución 0601 de abril de 2008	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,	Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
Resolución 0909 de junio de 2008	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,	Establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
Resolución 181495 de septiembre de 2009	Ministerio de Minas y Energía	Por el cual se establecen medidas en materia de exploración y explotación de hidrocarburos.
Resolución 0760 de Abril de 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,	Por la cual se adopta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.

NORMA	EXPEDIDO POR	CONTENIDO
Resolución 2153 de Noviembre de 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,	Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones.

Fuente: Autor del trabajo. 2015.

El protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas en la tabla 2 “Matriz de análisis de contaminantes”, presenta un análisis de contaminantes acorde a las características de la fuente fija [11]. Sin embargo en esta no se hace mención a la actividad de exploración y producción de hidrocarburos.

Por lo tanto, al no estar incluidas dentro de la lista de actividades sujetas al protocolo, es usual que no se realice el monitoreo de las emisiones atmosféricas a estas actividades tal como se describe en la sección 3 “Monitoreo de emisiones atmosféricas” del protocolo para las mencionados en la matriz de análisis.

En cuanto a la determinación de la altura de descarga, las buenas prácticas de ingeniería no tienen en cuenta el factor de la radiación térmica en la base o a un radio de distancia de la base de la tea, el cual como se encuentra en la normatividad industrial es clave para determinar la altura de este tipo de sistemas.

8.2.3 Otras normas y recomendaciones

Actualmente el Ministerio del Medio Ambiente cuenta con una Guía de manejo ambiental para para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas y una Guía ambiental para el desarrollo de campos petroleros, las cuales data de los años 1997 y 1999, respectivamente. Por medio de la Resolución 1023 de 2005 del Ministerio del Medio Ambiente estas guías se establecen como un instrumento de autogestión y autorregulación del sector correspondiente, y como instrumentos de consulta y referencia de carácter

[11] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2010.10p.

conceptual y metodológico tanto para las autoridades ambientales, como para la ejecución y/o desarrollo de los proyectos, obras o actividades contenidos en las guías señaladas en el artículo tercero de la misma resolución [12].

A pesar de lo anterior, esta guía se encuentra desactualizada. Por ejemplo, indica una altura mínima para los sistemas de teas basándose en lo indicado por el Decreto 02 de 1982 en su artículo 40. Sin embargo ese artículo fue derogado por la Resolución 909 de 2008, la cual en su artículo 70 establece que “la altura del punto de descarga (chimenea o ducto) se determinará con base en la altura o el ancho proyectado de las estructuras cercanas, entre otros criterios, siguiendo las Buenas Prácticas de Ingeniería tanto para instalaciones existentes como nuevas, establecidas en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas”. [13].

Tabla 6. Otras normativas y recomendaciones

Guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas.	Ministerio del Medio Ambiente	Unifica criterios para el manejo ambiental de estos proyectos y establecer orientaciones generales para su manejo socioambiental.
Guía ambiental para el desarrollo de campos petroleros.	Ministerio del Medio Ambiente	Unifica criterios para el manejo ambiental de estos proyectos y establecer orientaciones generales para su manejo socioambiental.

Fuente: Autor del trabajo. 2015.

[12] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1023 (28, julio, 2005). Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2005. No.45995. 16p.

[13] COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Resolución 948 (5, JUNIO, 1995). por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Bogotá D.C.: La Presidencia, 1995. no 41876.

8.3 ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO PARA EL QUEMADO DE GASES EN INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN COLOMBIA.

8.3.1 Análisis de alternativas

Considerando que la Resolución 181495 de septiembre de 2009 del Ministerio en su artículo 52 establece la prohibición de quemar gases en campos de producción de hidrocarburos exceptuando los casos en que sea inviable o antieconómicos hacerlo, para el análisis de alternativas de mejoramiento se considerará que las medidas de sistema de recuperación de vapores se han descartado con aprobación previa de las autoridades competentes.

Ahora, con el fin de comparar y evaluar las características de los diferentes tipos de sistemas de teas, en la tabla 7 se presenta una matriz de calificación. A cada característica se le asignó un puntaje de 0 a 100 considerando lo deseado en instalaciones de producción de hidrocarburos, el cual se pondera acorde a los valores asignados a cada característica.

Tabla 7. Matriz de calificación y comparación de los sistemas de teas

Característica	% ponderación	Auto soportada	Soportada por cables	Soportada por estructura	Multipunto a nivel de suelo	Encapsulada
Costo de capital (0: Alto costo 100: Bajo costo)	35%	60	75	15	15	25
Costo de instalación (0: Alto costo 100: Bajo costo)	15%	75	65	15	15	25
Requerimiento de espacio (0: Alto 100: Bajo)	35%	75	55	75	15	75
Requerimientos de mantenimiento (0: Alto 100: Bajo)	15%	60	35	15	15	15
Sumatoria ponderada	100%	67,5	60,5	36	15	41

Fuente: Autor del trabajo. 2015.

La puntuación las características se realizó considerando aspectos técnicos y económicos, basados en los parámetros mostrados en las tablas 2 y 3. A continuación se presentan los criterios de evaluación.

- Costo de capital. Como en todo proyecto, el costo de capital es uno de los principales aspectos a evaluar. Si bien el costo inicial del equipo dependerá de varios factores técnicos, es posible generalizar que entre más sencilla sea la tecnología empleada y entre menos componentes tenga el equipo, su valor de compra será menor.
- Costo instalación. La disposición de grúas y herramientas especiales para la instalación de equipos de gran tamaño es una limitante en el montaje de facilidades de producción de hidrocarburos. Por lo tanto, entre más sencilla sea la estructura, menor costo tendrá la instalación.
- Requerimientos de espacio: Otro de los principales limitantes al momento de seleccionar un sistema de tea, ya que el área disponible para las facilidades en los campos de producción es reducida, además de que se deben considerar factores de seguridad como la no cercanía a otros equipos y la distancia de fincas que se puedan encontrar en las cercanías del campo de producción.
- Requerimientos de mantenimiento: Como con cualquier equipo se busca que el mantenimiento sea lo más reducido posible con el fin de minimizar las paradas de la facilidad. Como regla general se tiene que entre menos componentes mecánicos menor mantenimiento es requerido.

La ponderación y calificación de las características de los diferentes sistemas se realizó con base a la experiencia laboral cercana a los dos años con uno de los principales fabricantes de estos equipos a nivel mundial, junto con la información encontrada en la normatividad industrial.

De la tabla 7 se puede encontrar que para el tipo de aplicaciones indicado, las teas más recomendadas son las de tipo autosoportada y soportada por cables.

Por otro lado, tal como se mencionó en la sección 8.2, el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas no hace mención a la actividad de exploración y producción de hidrocarburos, por lo cual tampoco incluye los valores mínimos requeridos de eficiencia de destrucción de hidrocarburos del quemado de gases de dicha actividad.

Para los sistemas de teas, la eficiencia de destrucción se define como el porcentaje másico del vapor o gas de quema que es al menos parcialmente oxidado. Para el caso de hidrocarburos, se define como el porcentaje másico de carbono que es convertido en CO o en CO₂ [14]. Este porcentaje debe ser mínimo del 98.5%, acorde a estándares internacionales.

El componente del sistema de tea encargado de garantizar la eficiencia de destrucción es la punta. En la tabla 6 se presentan las características de los tipos de puntas más usados.

Tabla 8. Características de los diferentes tipos de puntas de sistemas de teas

Característica	Punta no asistida	Punta asistida con aire	Punta asistida con vapor
Costo de capital	Bajo	Alto	Alto
Costo de operación	Bajo	Medio	Medio
Consumo de servicios	Bajo	Alto	Alto
Poder calorífico del gas a quemar	Bajo (< 20 BTU/ft ³)	Amplio rango (> 20 BTU/ft ³)	Amplio rango (> 20 BTU/ft ³)
Generación de ruido	Bajo	Medio	Medio-Alto

Fuente: Autor del trabajo. 2015.

No se realiza una calificación ponderada, ya que el principal criterio para seleccionar la punta más adecuada es el poder calorífico del gas de quema. En caso de ser menos a 20 BTU/ft³ se emplea un punta sin asistencia. Para gases con poder calorífico mayor se emplean las puntas asistidas, dependiendo del tipo a utilizar de la facilidad con que se cuente de usar aire o vapor.

[14] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Flare Details for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. API STANDARD 537. Washington D.C.: El Instituto, 2008. 2 p.

Independientemente del tipo de punta a usar, el valor de la eficiencia de destrucción debe ser mínimo del 98.5%, como se indicó anteriormente.

8.3.2 Elaboración de la guía ambiental para el quemado de gases en instalaciones de exploración y producción petrolera en Colombia

La Resolución 1023 de 2005 del Ministerio de Ambiente define a las guías ambientales como “documentos técnicos de orientación conceptual, metodológica y procedimental para apoyar la gestión, manejo u desempeño ambiental de los proyectos o actividades” [15] contenidos en una lista especificada por el mismo Ministerio.

De esta manera y siguiendo como ejemplo la estructura de la “Guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas” y de la “Guía ambiental para el desarrollo de campos petroleros”, se propone una “Guía ambiental para el quemado de gases en instalaciones de exploración y producción petrolera en Colombia”. Esta guía se encuentra en el Anexo A del presente trabajo.

Esta guía, tal como se expone en su definición, pretende servir de ayuda al personal del sector industrial y gubernamental, y de igual manera al público en general. Los lineamientos planteados son generales, tratando de mostrar las prácticas industriales acorde a los estándares internacionales. Es importante tener en cuenta que no las opciones planteadas no siempre aplican a todos los proyectos.

[15] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1023 (28, julio, 2005). Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2005. No.45995. 16p.

9. CONCLUSIONES

Se identificaron los dos tipos de sistemas de teas más recomendados para el quemado de gas en instalaciones de exploración y producción petrolera en Colombia, los cuales corresponden a las teas tipo autosoportada y soportada por cables.

Se encontró que la legislación colombiana, en especial el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, no hace referencia directa al quemado de gas en instalaciones de exploración y producción petrolera.

Se proponen alternativas de mejoramiento en los procedimientos de quema de gas en instalaciones de exploración y producción petrolera en Colombia por medio de una “Guía ambiental para el quemado de gases en instalaciones de exploración y producción petrolera” para el territorio colombiano”.

10.RECOMENDACIONES

Se recomienda actualizar la “Guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas”, ya que la última versión corresponde al año 1999.

Se recomienda realizar un estudio acerca del monitoreo de emisiones atmosféricas de los sistemas de teas usados en las instalaciones de exploración y producción petrolera en Colombia.

Se recomienda actualizar e incluir dentro del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas las actividades de exploración y producción de hidrocarburos.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Actualización del Mapa de Tierras. Bogotá D.C.: La Agencia, 2015.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Producción Mensual de Petróleo Bogotá D.C.: La Agencia, 2015.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Flare Details for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. API STANDARD 537, Second Edition. Washington D.C.: El Instituto, 2008.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Pressure-relieving and Depressuring Systems. API STANDARDS 521, Fifth Edition, Washington D.C., 2007.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO. Sector Minero y Petrolero en Colombia. Bogotá D.C.: La Asociación, 2010.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 99 (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C.: El Congreso 1993. no. 41146.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. Bogotá D.C.: El Departamento, 2011.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2010.

COLOMBIA. MINISTRO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 909 (05, junio, 2008). Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la

atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C., 2008. no 47051.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1023 (28, julio, 2005). Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2005. No.45995

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Producción Fiscalizada de Petróleo por Departamento. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2012.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía ambiental para el desarrollo de campos petroleros. Bogotá D.C., El Ministerio, 1997.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas. Bogotá D.C., El Ministerio, 1999.

COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Resolución 948 (5, JUNIO, 1995). por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Bogotá D.C.: La Presidencia, 1995. no 41876

GLOBAL GAS FLARING REDUCTION PARTNERSHIP. Glossary of Terms. Washington D.C.: La asociación, 2010.

GLOBAL GAS FLARING REDUCTION PARTNERSHIP. Monitoring & Reporting Guidelines for Flare Reduction CDM Projects. Washington D.C.: La asociación, 2010.

PERU. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Guía ambiental para el quemado de gas en instalaciones de exploración y producción petrolera. Lima: El Ministerio, 1993.

ANEXO A - GUÍA AMBIENTAL PARA EL QUEMADO DE GAS EN INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN COLOMBIA

A continuación se presenta la propuesta de “Guía ambiental para el quemado de gases en instalaciones de exploración y producción petrolera” para el territorio colombiano”.

GUÍA AMBIENTAL PARA EL QUEMADO DE GAS EN INSTALACIONES DE EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN PETROLERA EN COLOMBIA

1. INTRODUCCIÓN

Continuamente en las instalaciones de exploración y producción de petróleo se manipulan y procesan hidrocarburos en forma continua, los cuales son separados en corrientes de líquidos y de vapores. Las etapas por las cuales se lleva a cabo este proceso incluyen someter las corrientes de hidrocarburos a operaciones y procesos unitarios para obtener distintos grados de separación, y de esta forma recolectar los líquidos para su comercialización, y los gases ya sea también para su venta o para otra disposición final. A través de todo este proceso se producen emisiones de gases, a pesar de los esfuerzos de minimizarlas y/o eliminarlas.

Por lo tanto esas emisiones de gases deben ser dispuestas de manera adecuada. Anteriormente estos gases eran venteados directamente a la atmósfera, sin embargo por regulaciones ambientales este método se ha descontinuado. Actualmente la disposición de gases combustibles, vapores y líquidos por quemado es generalmente realizada por medio de teas. Las teas son usadas para el control ambiental de flujos continuos de

exceso de gases y de grandes cantidades de gases en una emergencia.

Esta guía, tal como se expone en su definición, pretende servir de ayuda al personal del sector industrial y gubernamental, y de igual manera al público en general. Los lineamientos planteados son generales, tratando de mostrar las prácticas industriales acorde a los estándares internacionales. Es importante tener en cuenta que no las opciones planteadas no siempre aplican a todos los proyectos.

2. MARCO NORMATIVO

La Constitución Política y la Ley 99 de 1993 establecen las bases para la legislación ambiental colombiana. A partir de estas normas se desprende la normatividad específica referente a emisiones atmosféricas de fuentes fijas, la cual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1. Normativa legal

NORMA	CONTENIDO
Decreto 948 de 1995	Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

NORMA	CONTENIDO
Decreto 979 de Abril de 2006	Por el cual se modifican los artículos 7°, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995.
Resolución 619 de julio de 1997	Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
Resolución 0601 de abril de 2008	Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
Resolución 0909 de junio de 2008	Establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
Resolución 181495 de septiembre de 2009	Por el cual se establecen medidas en materia de exploración y explotación de hidrocarburos.
Resolución 0760 de Abril de 2010	Por la cual se adopta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.
Resolución 2153 de Noviembre de 2010	Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones.

3. TECNICAS DE QUEMADO DE GAS

La quema controlada de gas de alivio es una de las practicas más comunes en la exploración, producción y procesamiento la industria del petróleo. El venteo como alternativa a esta práctica únicamente es usado en casos de emergencia.

Los sistemas de teas se usan ampliamente para disponer gases de purga y residuales en refinerías, gas asociado no recuperable que viene con el crudo de los pozos y otras aplicaciones no relaciones con la industria del gas y del petróleo.

Hay dos tipos principales de teas: elevadas y a nivel de suelo. Las teas elevadas son el tipo más común. En este tipo de teas, el gas de alivio es alimentado a una chimenea de entre 10 y 100 m de altura y se quema en la punta de la misma. La llama queda expuesta a las perturbaciones atmosféricas tales como el viento y la lluvia. Las teas a nivel de suelo varían en complejidad y pueden consistir en quemadores convencionales descargando el flujo horizontalmente.

En la tabla 2 se presenta una tabla comparativa de las principales características de cada tipo de tea elevada.

Tabla 2. Comparación de características entre sistemas de teas elevadas

Característica	Tea auto-soportada	Tea soportada por cables	Tea soportada por estructura
Altura	Hasta 300ft (92m)	Hasta 600 ft (183 m)	Hasta 655 ft (200 m)
Costo de capital	Medio	Bajo	Alto
Costo de instalación	Moderado	Bajo	Alto
Requerimiento de espacio	Reducido	Alto	Requerido
Requerimientos de mantenimiento	Bajo	Medio	Medio
Posibilidad de usar múltiples chimeneas	No	No	Si

Adaptado de: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service. API STANDARD 537, Second Edition. Washington D.C.: El Instituto. 2008. 28-41p.

De igual manera que para las teas elevadas, en la tabla 3 se presentan las principales características de las teas a nivel de suelo.

Tabla 3. Comparación de características entre sistemas de teas a nivel de suelo

Característica	Tea multipunto a nivel de suelo	Tea encapsulada	Tea tipo foso
Costo de capital	Alto	Alto	Bajo
Costo de instalación	Alto	Alto	Bajo
Requerimiento de espacio	Alto	Bajo	Medio
Requerimientos de mantenimiento	Medio	Alto	Bajo
Quema de flujo bifásico	No	No	Si

Adaptado de: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service. API STANDARD 537, Second Edition. Washington D.C.: El Instituto. 2008. 90-102p.

Para los sistemas de teas, la eficiencia de destrucción se define como el porcentaje másico del vapor o gas de quema que es al menos parcialmente oxidado. Para el caso de hidrocarburos, se define como el porcentaje másico de carbono que es convertido en CO o en CO₂. Este porcentaje debe ser mínimo del 98.5%, acorde a estándares internacionales

Tabla 4. Características de los diferentes tipos de puntas de sistemas de teas

Característica	Punta no asistida	Punta asistida con aire	Punta asistida con vapor
Costo de capital	Bajo	Alto	Alto
Costo de operación	Bajo	Medio	Medio
Consumo de servicios	Bajo	Alto	Alto
Poder calorífico del gas a quemar	Bajo (< 20 BTU/ft ³)	Amplio rango (> 20 BTU/ft ³)	Amplio rango (> 20 BTU/ft ³)
Generación de ruido	Bajo	Medio	Medio-Alto

Fuente: Autor del trabajo. 2015.

4. SELECCIÓN DE TÉCNICAS

4.1 Criterios de selección

Para la selección del sistema de tea a emplear y su dimensionamiento se requieren conocer las siguientes variables:

Caudal: Si el caudal es sobreestimado, el sistema será más costoso y puede tener una vida útil más

corta. En caso de ser subestimado, puede conducir a tener sistemas inseguros.

Composición del gas: Los productos de la combustión dependen de la composición del gas de entrada. Es decir, conociéndola es posible predecir las características del gas de chimenea.

Temperatura del gas: Tiene impacto directo sobre la expansión térmica, el volumen del gas y los requerimientos de materiales de la tubería y recipientes.

Presión disponible del gas. A mayor presión de gas disponible a la entrada del sistema, se tiene: menor costo de capital, ya que el tamaño de la línea de tea será menor; menor costo de utilidad, en caso de requerirse quema asistida; mejor operación de la punta, y por lo tanto mayor duración de la vida útil de la misma.

Costo y disponibilidad de servicios industriales.

Es necesario evaluar la disponibilidad y el costo de servicios como son el gas de piloto y el gas de purga. La cantidad requerida depende del tamaño del sistema de tea. La cantidad del gas de purga depende de la composición de este gas

Requerimientos ambientales. El requerimiento ambiental básico es que exista quema sin humo. Usualmente se emplea el número de Ringlemann como escala para determinar el si el nivel de

emisiones de humos está dentro de los límites permitidos.

Requisitos de seguridad industrial y salud ocupacional. El principal requerimiento de seguridad está relacionado con problemas de radiación térmica. Es necesario prever zonas de aislamiento alrededor de las teas para evitar los efectos de la radiación. Estas serán establecidas en función de la energía radiante emitida y de los receptores sensibles presentes en la zona de exposición.

Requisitos sociales. Aunque la tea cumpla con requerimientos ambientales, puede no cumplir con las expectativas de los vecinos de la planta. Pueden surgir reclamaciones por luz o ruido, debido a la presencia de comunidades, animales o cultivos en la zona.

4.2 Técnicas recomendadas

En las teas auto-soportadas todo el peso de la estructura se soporta en la base del equipo, mientras que en las soportadas por cables y por estructura, se requiere de elementos adicionales.

Por esta razón las auto-soportadas son usadas principalmente en aquellos sitios donde se cuenta con poco espacio. Su principal desventaja frente a las teas soportadas por cables es el costo de la inversión inicial, por tal razón en casos donde se

cuenta con área suficiente es más común tener este segundo tipo de teas.

Las teas soportadas por estructura, debido a su alto costo, son usadas en aquellos casos donde se requieren usar varias teas pero por cuestión de espacio es conveniente agruparlas, o en casos donde debido al tipo de gas a quemar o la cercanía de otros equipos se debe tener una altura elevada.

La principal ventaja de este tipo de teas es que el nivel de luminosidad y de radiación puede ser reducido a niveles menores que en las teas elevadas, llegando incluso a poder ser cero en algunos diseños. Por contraparte, su elevado costo hace que sean empleadas principalmente en aquellas situaciones donde se requiere baja emisión de luz y calor.

Adicionalmente es importante seleccionar el tipo de punta a usar. Se cuenta básicamente con dos tipos: el primer tipo corresponde a la punta sin asistencia, usualmente usada donde la quema asistida sin humo no se requiere. La llama producida por este tipo de puntas es función de la composición del gas y de la velocidad de salida del gas.

En las ocasiones en que debido a la composición del gas las puntas sin asistencia no garantizan la quema sin humo se requiere del segundo tipo de puntas: las que cuentan con asistencia. En este tipo de puntas se inyecta vapor, o aire en caso de que

este no se encuentre disponible, con el fin de mejorar la eficiencia de la combustión y de esta manera lograr la quema sin humo

Independientemente del tipo de punta a usar, el valor de la eficiencia de destrucción debe ser mínimo del 98.5%.

5. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Flare Details for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. API STANDARD 537, Second Edition. Washington D.C.: El Instituto, 2008.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Pressure-relieving and Depressuring Systems. API STANDARDS 521, Fifth Edition, Washington D.C., 2007.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 99 (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C.: El Congreso 1993. no. 41146.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2010.

COLOMBIA. MINISTRO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 909 (05, junio, 2008). Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C., 2008. no 47051.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1023 (28, julio, 2005). Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2005. No.45995

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía ambiental para el desarrollo de campos petroleros. Bogotá D.C., El Ministerio, 1997.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de manejo ambiental para proyectos de perforación de pozos de petróleo y gas. Bogotá D.C., El Ministerio, 1999.

COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA. Resolución 948 (5, JUNIO, 1995). por el cual se

reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Bogotá D.C.: La Presidencia, 1995. no 41876

GLOBAL GAS FLARING REDUCTION PARTNERSHIP. Glossary of Terms. Washington D.C.: La asociación, 2010.

GLOBAL GAS FLARING REDUCTION PARTNERSHIP. Monitoring & Reporting Guidelines for Flare Reduction CDM Projects. Washington D.C.: La asociación, 2010.

6. GLOSARIO

Eficiencia de combustión: Porcentaje de combustible líquido que es totalmente oxidado en el quemador. En el caso de hidrocarburos, la eficiencia de combustión es el porcentaje en peso de carbono original en el líquido que se oxida completamente a CO₂.

Facilidades de producción: Instalaciones, plantas, vasijas de producción y demás equipos para las actividades de producción, separación,

tratamiento, conducción y almacenamiento de hidrocarburos en el subsuelo.

Fuente de emisión: Es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

Fuente fija: Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Gas de alivio: Gas o vapor venteado o aliviado en el cabezal para conducirse a la tea. También se llama gas residual, gas de quema o vapor residual.

Gas de asistencia: Gas combustible que se adiciona al gas de alivio al quemador de la tea o al punto de combustión con el fin de incrementar el poder calorífico.

Gas asociado: Gas natural que viene de pozos de petróleo, encontrado en asociación con el crudo, bien sea disuelto en el crudo (gas disuelto) o separado del crudo (gas libre).

Gas natural: Un término genérico que denota principalmente a una corriente gaseosa de hidrocarburos producida de una formación geológica.

Intensidad de radiación: La rata de transferencia de calor local por radiación desde la llama de la tea. Usualmente se expresa en kilovatios por metro cuadrado (unidades térmicas británicas por hora por pie cuadrado).

Medidor de flujo: Instrumento para monitorear, medir o grabar la velocidad de flujo, presión o descarga de un fluido.

Número de Ringelmann: Escala usada para definir los niveles de blanco, gris y negro, donde blanco es cero, negro 5 y del 1 al 4 se incrementan los niveles de gris. Se usa frecuentemente para describir la intensidad de humo.

Poder calorífico: Las calorías o unidades térmicas contenidas en una unidad de una sustancia, y liberadas cuando la sustancia es quemada bajo condiciones estándares. Para gas natural el poder calorífico superior o bruto (HHV, por sus siglas en inglés) incluye el calor de vaporización del agua producida por la combustión. El poder calorífico inferior (LLV por sus siglas en inglés) no incluye el calor de vaporización. El LHV es el más usado comúnmente.

Separador: Un recipiente de tratamiento de producción diseñado para facilitar la separación de gas, crudo y/o agua de una corriente de fluido de producción.

Tea: Termino general usado para designar a un dispositivo o sistema usado para disponer de manera segura gases de alivio de una manera ambientalmente correcta por medio del uso de combustión. También conocida como antorcha o mechurrio [En otros países de Latinoamérica].